



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENT- UND

MARKENAMT

⑯ ⑫ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 199 07 880 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:

B 23 Q 17/24

G 01 B 21/24

// B23B 49/00, G05B

19/18

⑯ Aktenzeichen: 199 07 880.7

⑯ Anmeldetag: 17. 2. 1999

⑯ Offenlegungstag: 24. 8. 2000

DE 199 07 880 A 1

⑯ Anmelder:

Prüftechnik Dieter Busch AG, 85737 Ismaning, DE

⑯ Erfinder:

Unger, Andreas, 85748 Garching, DE; Pfister, Florian, 81379 München, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Laser-Messverfahren zur Bestimmung von Azimut, Elevation und Offset zweier Werkzeugspindeln

⑯ Azimut und Elevation zweier zueinander ausgerichteter Werkzeugspindeln werden dadurch ermittelt, dass zuerst die winkelmäßige Relativlage dieser Spindeln nach interessierenden Winkelkoordinaten bestimmt wird. Danach wird durch Vermessung des Abstandes in Abhängigkeit von einer distalen Beabstandung der Werkzeugspindeln die winkelmäßige Position der Spindelachsen relativ zu den Koordinaten einer vordefinierten Referenz-Ebene bestimmt.

DE 199 07 880 A 1



## Beschreibung

(Stand der Technik)

Die Erfindung betrifft ein Laser-Messverfahren zur Bestimmung von Azimut und Elevation zweier zueinander auszurichtender Werkzeugspindeln. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren, mittels solcherart bestimmter Messwerte die Werkzeug-Spindeln in einfacher, kostengünstiger und zeitsparender Weise aufeinander auszurichten. Weiterhin betrifft die Erfindung die Bereitstellung passender Gerätschaften zur Durchführung der genannten Verfahren. Es werden seit längerer Zeit Anstrengungen unternommen, um die Qualität von maschinenbearbeiteten Werkstücken mittels verschiedener Maßnahmen zu erhöhen. Zu einer solchen Maßnahme gehört auch die vereinfachte metrologische Beurteilung von automatisierten Werkzeugmaschinen. Sowohl bei einer Neuinstallation als auch nach Maßgabe eines Inspektionsplanes ist es erforderlich, die tatsächlichen geometrisch/mechanischen Kennwerte einer Werkzeugmaschine mit angenommenen Idealwerten zu vergleichen. Bei unzulässigen Abweichungen sind entsprechende Korrekturmaßnahmen erforderlich. Speziell nach den gelegentlich vorkommenden Fehlbedienungen an solchen Maschinen, bei denen z. B. ein Werkzeughalter in den Aktionsbereich einer Spannzange oder des Backenfutters verfahren wird (oder ähnlichen sog. Crashes), sollte überprüft werden, ob die tatsächlich existierenden geometrisch/mechanischen Kennwerte einer Werkzeugmaschine mit den zugrunde gelegten Idealwerten genau überein stimmen.

Zu diesem Zweck werden in der Zwischenzeit neben herkömmlichen mechanischen Messinstrumenten solche benutzt, deren Messzeiger auf Basis eines lichtoptischen Strahls, insbesondere eines Laserstrahls basieren. Ein solches System wird in der DE 40 34 302 A1 beschrieben, in welcher auch weitere oder ähnliche Systeme der genannten Art diskutiert werden. Zur Vermeidung von Längen wird auf die genannte DE 40 34 302 A1 bzw. die zugehörige US-Patentschrift Bezug genommen. Mit dem genannten System ist es mittels den dargestellten Methoden der Spindelausrichtung nicht möglich, eine Aussage hinsichtlich der Spindelausrichtung relativ zu einer Bezugsebene bereit zu stellen. Dies gilt insbesondere für das Problem, wenn eine jeweilige Elevation für zwei Maschinennachsen einzeln und relativ zu einer geneigten Referenzebene angegeben werden soll. Das gleiche gilt, wenn vergleichbare azimutale Ausrichtungs-Differenz einer Spindel jeweils einzeln bezüglich einer gemeinsamen Verfahrlinie und koplanar zur genannten Referenzebene bestimmt werden soll.

(Aufgabe der Erfindung)

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, das vorgenannte Problem mit kostengünstigen Messeinrichtungen zu lösen, bei deren Handhabung wenig Probleme entstehen und wobei die Handhabung als besonders unkompliziert einzustufen ist. Diese Aufgabe wird mit den Mitteln gelöst, deren Merkmale in den unabhängigen Ansprüchen angegeben sind.

Die Erfindung beruht im Wesentlichen auf einem Verfahren, gemäß welchem zunächst eine winkelmäßige Relativlage zweier Werkzeugmaschinen-Spindeln oder dergleichen nach zwei Winkelkoordinaten im Raum ausgemessen werden, weiterhin eine Bestimmung eines in einer ersten vordefinierten Ebene existierenden effektiven Abstandes der zu den Werkzeugspindeln gehörigen Rotationsachsen durchgeführt wird, sodann die effektive distale Beabstandung der Werkzeugspindeln kontrolliert verlängert wird, sodann er-

neut die winkelmäßige räumliche Relativlage der genannten Winkelkoordinaten zueinander ausgemessen werden, und sodann eine weitere Bestimmung eines an einer zweiten vordefinierten Ebene existierenden effektiven Abstandes der

zu den Werkzeugspindeln gehörigen Rotationsachsen durchgeführt wird, und schließlich unter Bezugnahme auf die so aufgefundenen Messwerte die jeweils einzelnen winkelmäßigen Relativlagen der Werkzeugmaschinen-Achsen nach Azimut und Elevation errechnet werden, insbesondere bezüglich eines Koordinatensystems, welches einer vordefinierten Referenz-Ebene zugeordnet ist. Die vordefinierte Referenzebene definiert dabei typischerweise eine von mehreren Randbedingungen für die kontrollierte Veränderung der distalen Beabstandung der beteiligten Spindeln.

Die vordefinierte Referenzebene bezieht sich dabei mit Vorteil auf eine durch ein Maschinenbett vorgegebene Ebene. Bei der Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es darüber hinaus möglich; ohne zusätzliche Messvorgänge den relativen linearen Offset der Werkzeugspindeln nach zwei Raumkoordinaten mit sehr hoher Messgenauigkeit zu bestimmen.

Die Vorteile des Verfahrens bestehen darin, dass eine der Spindeln einer Werkzeugmaschine in einfacher Weise lediglich mit einem optisch/mechanisch wirkenden Spiegelprisma oder Retroreflektor bestückt zu werden braucht, welches somit von sehr einfacher, wenn auch hochgenauer mechanisch/optischer Konstruktion ist. Gleichzeitig ist die jeweils andere, zugehörige und ebenfalls zu überprüfende Spindel einer Werkzeugmaschine mit einem Sende-/Empfangsteil ausgerüstet, welches dazu dient, einen Lichtstrahl auf das Spiegelprisma zu werfen und den reflektierten Lichtstrahl auf einer Messfläche des Empfangsteils zu lokalisieren, d. h. dessen Auftreffpunkt auf einer solchen Messfläche mittels geeigneter Messtechnik in einer oder zwei Dimensionen zu bestimmen. Hierzu werden in an sich bekannter Art optoelektronische Sensoren und zugehörige Interface-Schaltungen samt angeschlossener Computer oder Controller verwendet. Die vorgenannte Separation von elektronischen und nichtelektronisch wirkenden Komponenten stellt sicher, dass die Handhabung der erfindungsgemäß vorgesehenen Gerätschaften äußerst einfach und bequem verfolgen kann.

(Beispiele)

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Beispiels und zugehöriger Figuren beschrieben.

Es zeigt

Fig. 1 die erfindungsgemäß vorgesehenen optischen, optoelektronischen und elektronischen Komponenten des Systems, wie zur Ausführung der Erfindung vorgeschlagen.

Fig. 2 die geometrischen Verhältnisse für beteiligte Achsen und Bezugslinien oder -ebenen

Die in Fig. 1 und 2 gezeigten Werkzeugmaschinen 1 und 2 können entlang einer Auflagefläche 20 gegeneinander verschoben werden, wobei die entsprechende Verschiebewegung als im Wesentlichen linear anzusehen ist. Falls es einer Bedienperson unklar sein sollte, ob die genannte Voraussetzung zutrifft, so kann in vorteilhafter Weise mit den gleichen Gerätschaften, mit denen das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt wird, eine diesbezügliche Überprüfung auf Geradheit (straightness) an der zu untersuchenden Werkzeugmaschine durchgeführt werden.

Bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Messverfahrens kommt es einer Bedienperson hauptsächlich darauf an, nicht nur einen eventuell existierenden linearen Offset der Maschinenspindeln zu bestimmen, sondern auch deren Ausrichtung in Azimut (yaw) und Elevation (pitch) zu er-



mitteln. Zu diesem Zweck wird mit Vorteil ein Koordinatensystem verwendet, welches in die Auflagefläche 20 gelegt ist.

Zur Korrektur der genannten Fehlwinkel ist es also erforderlich, diese zunächst messtechnisch zu bestimmen, und dann mittels geeigneter Justagemaßnahmen möglichst weitgehend zu unterdrücken.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht hierbei vor, in eine vorhandene Aufnahmeverrichtung 5 der Werkzeugmaschine 1 ein Sende-/Empfangsteil 7 einzuspannen. Das Sende-/Empfangsteil 7 dient dazu, Lichtstrahlen 9 in Richtung der Werkzeugmaschine 2 zu emittieren. Hierzu werden mit Vorteil an sich bekannte, optoelektronische und optische Elemente verwendet, wie sie z. B. in einem Halbleiterlaser zu finden sind. Das Sende-/Empfangsteil 7 ist weiterhin mit einer Datenübertragungseinrichtung 7 versehen, mit der ein mono- oder bidirekionaler Austausch von Daten zu einem tragbaren Bedienteil 12 durchgeführt werden kann. Die Datenübertragungseinrichtung 11 kann drahtgebunden oder drahtlos funktionieren.

Die emittierten Lichtstrahlen 9 fallen auf ein Spiegelprisma 8 auf, dessen Halterung bevorzugt zylindrisch ausgestaltet ist, welche mit einem ebenfalls zylindrischen Spannzapfen versehen ist. Der genannte Spannzapfen kann direkt und in bequemer Weise in die Spann- oder Aufnahmeverrichtung 6 der Werkzeugmaschine 2 eingespannt werden. Auf diese Weise kann das Spiegelprisma, zugleich und im Wesentlichen synchron, mit dem Sende-/Empfangsteil 7, per geeigneter Befehlsgabe an die Maschine 2, oder aber von Hand, um die Drehachse der Spindel 4 gedreht werden.

Der Lichtstrahl 9 wird durch das Spiegelprisma 8 reflektiert. Dessen Querschnitt entspricht einem rechtwinkligen Dreieck, welches gleichlange Katheten aufweist.

Die Anordnung und Wirkungsweise entspricht dabei verschiedenen Teilen, wie sie aus der DE 38 14 466 bekannt sind, deren Funktion im Einzelnen hier zur Vermeidung von Längen nicht wiederholt wird. Es sei festgehalten, dass mit einer solchen Anordnung lateraler und angularer Versatz in jeweils zwei Achsen/Koordinaten quantitativ ausgemessen werden kann. Ein spezielles diesbezüglich anwendbares Verfahren wird in der DE 39 11 307 genannt.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird gemäß Fig. 2 folgendermaßen ausgeführt:

Zunächst wird unter Zuhilfenahme des Spiegelprismas 8 sowie des Sende-/Empfangsteils 7, nach einer erforderlichen Drehung der Spindeln 3, 4, mittels des Bedienteils 12 deren relative Elevation "gamma 1" zueinander bestimmt und für die weitere Auswertung in einem geeigneten elektronischen Speicher des Bedienteils 12 registriert. Gleichzeitig wird nun der mittels Sende-/Empfangsteil 7 und dem Spiegelprisma 8 ebenfalls festgestellte achsiale Versatz "d1" der Spindelachsen gegeneinander vermessen, und zwar in einer solchen Ebene, die auch zur Bestimmung der Elevation dient. Der Versatzwert "d1" wird ebenfalls im Bedienteil 12 registriert.

Danach wird eine der beiden Werkzeugmaschinen 1, 2 samt zugehöriger Spindel distal und definiert um eine Strecke "s" gegenüber der anderen verschoben, und zwar im Wesentlichen in der durch das Maschinennetz vorgegebenen Richtung. Der zugehörige Messwert für die Verschiebung um "s" wird sodann in das Bedienteil manuell oder automatisiert eingegeben. Daraufhin wird erneut gemäß obig angegebenem Schema nach einer erforderlichen Drehung der Maschinenspindeln deren relative Elevation "gamma 2" zueinander bestimmt. Dieser Wert sollte dem zuvor ermittelten Wert "gamma 1" entsprechen, zumindest bis auf einen geringen, vordefinierbaren Fehler. Bei Nichtübereinstimmung kann das Bediengerät eine Fehlermeldung ausgeben. Des-

gleichen wird erneut und nach dem gleichen Messverfahren der zu dieser Elevation vorliegende achsiale Versatz "d2" der Spindeln bestimmt und im Bedienteil 12 registriert. Dieser Wert stimmt nur ausnahmsweise mit dem zuerst bestimmten überein. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, lässt sich nämlich aus dem Verhältnis aus Differenz d1-d2 zur Strecke "s" gemäß bekannten trigonometrischen Funktionen der Winkelwert "alpha" errechnen. Dieser Winkelwert ist nun gleichzeitig die Elevation der ersten Spindelachse gegenüber dem gemeinsamen Maschinennetz. Die Beziehung der Winkelwerte untereinander errechnen sich bekanntlich dadurch, dass der Winkelwert "beta" sich additiv aus den Anteilen "alpha" plus "gamma" zusammensetzt, wobei "beta" die Elevation der zweiten Spindelachse gegenüber dem Maschinennetz kennzeichnet.

Mit diesem Verfahren sind somit zwei gesuchte Elevationswinkel bekannt.

Die ebenfalls erforderliche Bestimmung der Werte für Winkelabweichungen der Spindeln gegeneinander, in azimuthaler Richtung (yaw), wird in völlig vergleichbarer Weise durchgeführt. Mittels dem obig vorgeschlagenen Messwerkzeug kann eine simultane Bestimmung der Fehler-Winkel sowohl in azimuthaler als auch in elevationsmäßiger Richtung durchgeführt werden. Damit genügt eine einzige Verschiebungsrichtung der Spindeln gegeneinander, um einen vollständigen Satz Messergebnisse zu erhalten. Anhand dieser kann das Bedienteil sodann Vorschläge für eine effiziente Korrektur der Spindellagen errechnen (z. B. für eine Korrektur mittels Justierschrauben oder dgl.). Hierdurch kann eine turnusmäßige Überprüfung und ggf. die Justage solcher Werkzeugmaschinen wesentlich schneller durchgeführt werden, als dies vorher möglich war. Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass mit ein und demselben Messvorgang, der aus nur wenigen Mess-Schritten besteht, sowohl eine angulare Relativlage der Maschinenspindeln bezüglich einer Referenzebene, als auch deren linearer Versatz (offset) nach zwei Achsen im Raum bestimmbar ist.

#### Patentansprüche

Laser-Messverfahren zur Bestimmung von Azimut und Elevation zweier zueinander auszurichtender Werkzeugspindeln, welches in folgenden Schritten ausgeführt wird:

- Bestimmung einer winkelmäßigen Relativlage zweier Werkzeugmaschinen-Spindeln, nach zwei Winkelkoordinaten,
- Bestimmung eines an einer vordefinierten Querschnittsfläche existierenden effektiven Abstandes der zu den Werkzeugspindeln gehörigen Rotationsachsen,
- kontrollierte Veränderung der effektiven distalen Beabstandung der zueinander auszurichtenden Werkzeugspindeln,
- erneute Bestimmung der winkelmäßigen Relativlage der Werkzeugspindeln, nach zwei Winkelkoordinaten,
- erneute Bestimmung eines an einer vordefinierten Querschnittsfläche existierenden effektiven Abstandes der zu den Werkzeugspindeln gehörigen Rotationsachsen,
- Berechnung der jeweils einzelnen winkelmäßigen Positionen der Spindelachsen relativ zu den Koordinaten einer vordefinierten Referenz-Ebene.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**Best Available Copy**

ZEICHNUNGEN SEITE 1

Nummer:

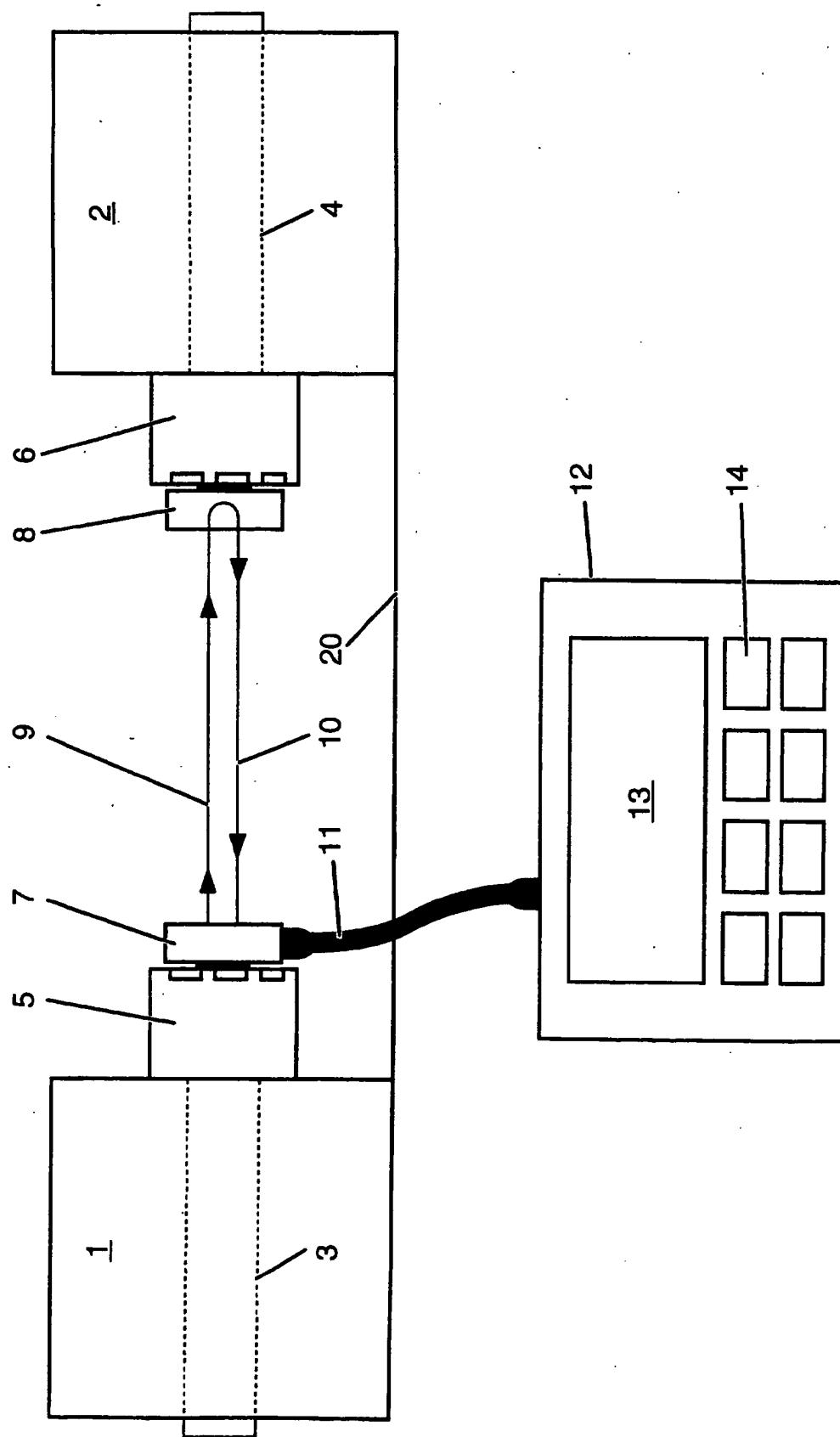
DE 199 07 880 A1

Int. Cl. 7:

B 23 Q 17/24

Offenlegungstag:

24. August 2000



**Fig. 1**

002 034/665

X

# Best Available Copy

ZEICHNUNGEN SEITE 2

Nummer:  
Int. Cl. 7:  
Offenlegungstag:

DE 199 07 880 A1  
B 23 Q 17/24  
24. August 2000

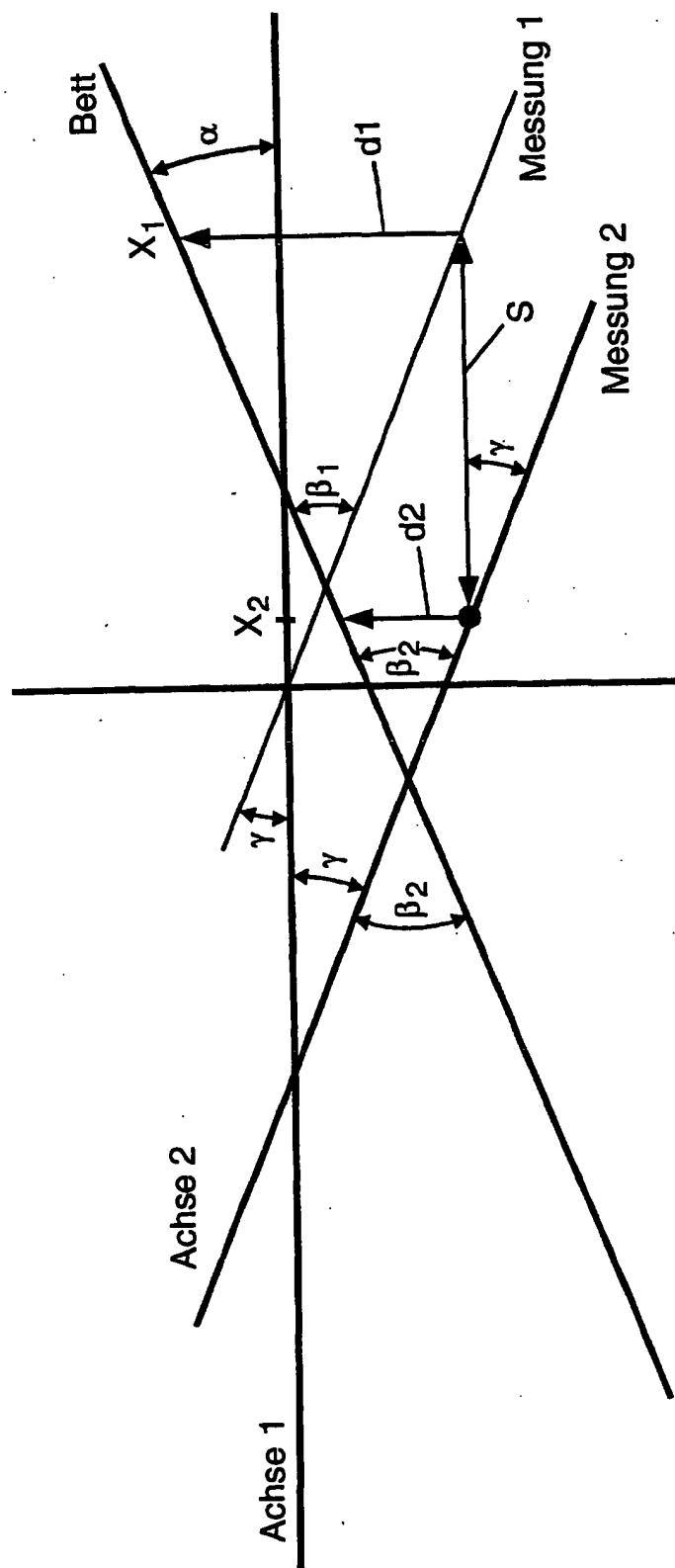


Fig. 2